

広域地熱資源調査における赤外線熱映像探査法の研究

著者	川村 政和
号	806
発行年	1985
URL	http://hdl.handle.net/10097/11755

氏 名	かわむらまさより 川村政和
授与学位	工学博士
学位授与年月日	昭和 60 年 12 月 11 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最終学歴	昭和 43 年 3 月 北海道大学理学部地球物理学科卒業
学位論文題目	広域地熱資源調査における赤外線熱映像探査法の 研究
論文審査委員	東北大学教授 横山 秀吉 東北大学教授 田中 正三 東北大学教授 藤崎 春雄 東北大学教授 中鉢 憲賢

論文内容要旨

第 1 章 緒 論

本章では、本研究の目的と考え方を明らかにすると共に、地熱調査のために赤外線熱映像が利用されてきた歴史と現状を紹介し、それに対する本研究の必要性と位置づけについて論じた。地熱調査に赤外線熱映像を用いる最大の利点は、広範囲にわたる熱情報を瞬時に把握できるという広域概査の側面で大きな役割が可能なことである。近年の地熱調査が次第に広域化かつ大規模化している状況のもとでは最適な方法であるということができ、その利用目的として①地熱微候探査、②熱的評価、そして③地熱構造解析という発展的方向づけを行った。しかし、現状では①地熱微候探査の段階に止まっていて、赤外線熱映像調査のもつ利点を十分に活用しているとはいえない状況にある。本研究では以上の方向づけに沿って、地温分布が地下水の流動と密接に関連していることを利用し、広域水循環系における涵養・流出という観点から地熱系のモデル化を追求するための研究の流れを次のように設定した。即ち、

- (1) 広域地表面温度分布の推定
によって
- (2) 熱水循環系の基礎としての“涵養域”と“流出域”の抽出
を行い、それに基づいて
- (3) 広域にわたる立体的な地熱系概念モデルの構築

を目ざすという3つの課題について研究をすすめることとした。

次いで、赤外線熱映像が地熱や火山現象の観測に利用されてきた歴史的経緯とその現状について述べ、その中において前述した本研究の目的・内容がいかなる意味を持つかについての位置づけを行った。また赤外線線の性質を簡単に紹介した上で、現在の熱映像調査がどのように行われているかについて、その観測やデータ処理の方法を具体的に説明した。

第2章 熱映像観測・データ処理の方法と調査地域の概要

本章では、本研究において実施した赤外線熱映像の観測及びデータ処理の方法について説明し、次いで研究対象としてとりあげた恐山・玉川・鬼首・涌蓋山等4地域についての「地形と地熱活動」の状況、これまでになされた「地熱調査」そして「熱映像調査」の内容やデータ処理の方法について紹介を行った。まず、赤外線熱映像調査におけるデータの収集・処理の流れを明確化し、それぞれの過程について説明した。各調査で使用したMSSセンサはDaedalus DS-1250であり、撮像と同時に地上実測や気象観測も実施した。得られたアナログ熱映像については種々の歪が含まれているので、「幾何的歪補正」を施して地形図に合致する熱画像をつくった。広域調査地域については、その全体的な温度分布を把握するために「地表面温度傾向面解析」を実施した。

青森県恐山地域の調査範囲は半島部の1.2km×1.0kmで、1978年10月31日未明に910~1800mの異なる7段階の飛行高度において撮像を行った。秋田県玉川地域では約0.46km²の調査範囲に対し、1977年9月16・17日の両日にわたってそれぞれ1810m及び1900mの飛行高度より夜間と日中の撮像を行い熱映像を得た。宮城県鬼首地域については12km×15kmの範囲について1980年11月10日の夜間に4570mの高度から3コースの撮像を行った。また、幾何的歪補正を施したカラー画像や傾向面解析による全域の地表面温度分布図を作成した。涌蓋山地域の調査範囲は18.5km×16kmで大分県と熊本県の県境にまたがる地熱活動域である。熱映像の撮像は1979年2月8日の日の出前に高度3290mで7コースにわたって実施した。また、当地域についても地表面温度の傾向面解析を行った。

第3章 赤外線熱映像による温度情報の検討

本章では、赤外線熱映像調査の温度情報に内在している種々の問題点を各調査地域で実施した具体的観測例について考察した。まず、「熱映像による地表面温度と1m深地温との関係」を、恐山地域と玉川地域の場合について検討した。熱映像及び1m深の温度分布は類似したパターンを示したが、温度値自体は特に高温側で相関性の悪くなることが知られた。「日中と夜間の熱画像の比較」では、日射が地表面温度に与える影響を玉川地域の場合について検討した。調査対象範囲内に日射の影を生ぜしめるような起伏がない地域では、双方の温度の間に直線的な相関関係が成立しており、温度分布や放熱量についての解析を行う上で差のないことが明らかになった。次に、「撮像高度(距離)の違いが熱映像に与える影響」について考察した。恐山地域の熱映像調査に際して矩形波応答特性の観測用標識を設置し、異なる7段階の高度から撮像した結果について検討を加えた。撮像対象の大きさやその対地高度と応答出力との間の関係について比較を行った結果、対地高度が1000

m以上、あるいは撮像対象が5 m以下の場合は応答特性が良くなく、減衰の大きいことが確認できた。また、データ処理システムとしてはD/D方式がA/D方式に比して優れていることを実証した。「赤外線エネルギーの大気中における減衰（測定温度に対する大気の影響）」では、鬼首地域の熱映像調査において気象用ゾンデを上げて大気中の気温・湿度等の観測を行った結果から地上520～3500 mの500 m毎の可降水量を計算し、それに対する透過率・温度補正量を求めたが、測定温度あるいは撮像高度が高くなるにつれて補正量も大きくなることが明らかとなった。赤外線温度観測における「放射率の違いが測定温度に及ぼす影響」については、涌蓋山地域の熱映像上に現れた地熱活動と係りのない異常温度帯を通して考察した。それはある標高の黒ボク土壌域におけるスギ植林地に限られた現象であることをつきとめ、その原因としてはその放射率の違いによる見掛けの温度異常であることを明らかにした。また、放射率が測定温度に与える影響について調べ、物体の真の温度と天空温度との差が小さくなるにつれて誤差が小さくなること、つまり、天空温度が低い時ほどわずかな放射率の違いによる影響が大きいことを見出した。

第4章 赤外線熱映像による放熱量評価

本章では、研究対象の4地域について赤外線熱映像調査による放熱量を求めると共に、その方法の性質や問題点について検討を行った。本研究で用いたSEKIOKA, M. & K. YUHARAの方法は、同時に測定した2地点間の熱流量の差が地表面温度の差と気象観測から求める係数(K)との積で表されることを利用して、地表面温度分布から放熱量を見積る熱収支的方法である。

恐山地域の放熱量は、熱映像によるデジタル地表面温度分布から計算し約3,600 kcal/secとなったが、それは地上調査による総放熱量の2.2倍にあたる。次いで、玉川地域において実施した放熱量調査の内容についてその方法等を具体的に説明した。その総放熱量は約7,500 kcal/secと求められたが、噴気による放熱が卓越している。また、熱映像調査から求めた値は20,200 kcal/secとなり、前述値の2.7倍となった。鬼首環状地域内の放熱量としては、その地表温度の傾向面解析結果を利用した見積りによって5,500 kcal/secを得たが、基準温度を環状地域外との相対的關係において定めたことで地上調査の結果と良い一致をみた。涌蓋山地域の放熱量については全域及びその6集水域別に見積った。熱流量調査や温泉・噴気調査から求めた総放熱量は、約143,000 kcal/sec（硫黄山と地熱井を除いた場合は約19,000 kcal/sec）である。一方、熱映像調査は302,000 kcal/secと異常に大きな値となり良い関係が得られなかった。

次いで、以上の4地域の事例を通して明らかとなったSEKIOKA, M. & K. YUHARAの方法の有利性や問題点について考察を加えた。同法は伝導と対流によって地表面まで運ばれる熱量からの大気中への放出分を求めるものであり、必ずしも地上調査の内容に一致はしないが前者の値は後者よりもかなり大きい。この原因の1つとしては、地熱地における低レベルの噴気活動に伴う顕熱放熱量がかかわっていることが考えられる。また、計算の過程において係数や基準温度の誤差が影響しており、特に広域にわたる場合は後者による影響が大きいことを確かめた。

第 5 章 広域地熱地帯のモデル化と評価

本章では赤外線熱映像による広域地熱構造のモデル化の方法について論ずると共に、実際に鬼首・涌蓋山地域の広域地熱系概念モデルを考察し、それに対して地上で実施されている種々の調査や試錐等による結果との比較を通してその検証を行った。

地熱系モデル化の基本的な考え方は次の通りである。即ち、地中温度分布は地下水の流動によって影響を受けており、地表面温度分布もそれを反映している。従って、低温域とはそこで放出されるはずの熱が天水の滲透に伴い地中で他方面へ流出している部分、また、高温域とは他から熱が集中して地下水流の上昇に伴い地上へ流出している部分にあたる。地表面温度分布はそのような熱の供給域・排出域を表しているので、地温分布や地熱徴候の配列及び地形・地質構造を組合せて熱水の循環系を想定し、地熱系概念モデルをつくりあげる。

以上のような構想のもとに、まず鬼首地域について考察を行った。荒雄岳西部や自生山周辺の高温域は、地質構造上の断層の分布状態に良く一致している。しかし、地熱徴候とのかかわりが少ない点や、これら高温域にあたる河川の比流量が大きい点は、地下水滲出に伴う温度上昇効果が大きいことを表しており、直接地熱活動に結びつくものではない。荒雄岳東部・高日向山南東部及び大柴山北部の低温涵養域からの滲透水はカルデラ内に集中する過程で加熱され、片山地獄付近で上昇・噴出している。また、この一部は南西方向へ流下し、宮沢・吹上温泉等を形づくっている。次いで、涌蓋山地域の地熱構造について考察した。当地域の地表面温度分布では、大岳と岳湯西部及び黒川周辺に高温域があり、一目山西部と九酔溪周辺に低温域がある。熱水流動として、涌蓋山の東側では九重山から合頭山・八丁原・大岳・湯坪に至る流れと八丁原あるいは九重山から大谷山を経て黒川・田の原・満願寺に連なる流れがある。涌蓋山の西側では涌蓋山から岳湯を経て菅原・宝泉寺・壁場への流れと奴留湯・北里方面への流下がある。また、一目山西部及び九酔溪周辺の著しい低温傾向は、その周辺が大きな涵養域であることを表している。以上の熱水流動モデルに対して、熱流量調査や試錐調査から知られた深部地熱構造と比較・検討した結果、非常に良い一致を示した。地質構造の上からも、上記の熱水系の形成には断層分布が大きく係っていることを明らかにした。

第 6 章 結 論

以上本研究では、まず「赤外線熱映像探査法」について、そのデータ収集における最適な条件を得るために、撮像高度・大気及び放射率等の影響を追求すると共に、得られた熱映像と地上で実施した地温調査結果との関連や日中と夜間の熱映像の比較を行った。次に「熱的評価」及び「地熱構造解析」の方法について考察したが、前者については、広域にわたる評価方法の開発とそれに伴う種々の問題を、後者については、水循環という観点から広域地表面温度分布を把握しそれを用いて地熱構造をモデル化する方法を論じそれぞれの検証を行った。

即ち、本研究による「赤外線熱映像探査法」は地上で実施されるボーリング掘削等の精査に対し重要な指針を与える有力な概査手段であるといえる。

審 査 結 果 の 要 旨

近年、地熱調査の分野において、航空機を用いた空中赤外線熱映像法が取り入れられ、広い地域を迅速に調査することが可能となった。しかし、赤外線熱映像法による地熱調査はまだ地熱微候調査の段階に止まっており、広域温度マッピングのための物理探査法として確立するまでには至っていない。

本論文は地熱資源の高度利用化をめざし、広域地域で収集した多量の赤外線熱映像情報をデジタル処理し、新しい手法による地表面温度分布測定法を開発し、この方法で得られたデータと地上で得られたデータとの比較検討を行い、赤外線熱映像法を広域概査の物理探査法として技術的に確立した一連の研究成果をまとめたもので全編6章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章は、恐山、玉川、鬼首、涌蓋山等の4地域を研究対象とし、そこで実験観測した空中赤外線熱映像の処理と解析に関する研究である。広域調査のため、地域の全体的な温度分布を把握する1方法として、まず、アナログ熱映像をデジタル化し、幾何的歪補正を施し、地形図と合致するデジタル熱画像データをつくり、熱映像上で判読可能な裸地部を抽出して解析する方法を提案し、植生をはぎとった地表面温度傾向面解析に成功している。これは地下の温度分布を推定する上で優れた手法である。

第3章では、赤外線熱映像による温度情報と具体的観測例との比較検討について述べている。すなわち、熱映像と1 m深地温分布との比較、日中と夜間との熱画像の比較、撮像高度の温度データに与える影響、放射率の違いが測定温度に及ぼす影響等について述べ、赤外線熱映像探査法の適用に際して重要な指針を与えている。これは有用な成果である。

第4章では、赤外線熱映像を利用して地熱地域からの放熱量を求め、それと地上で実施した放熱量調査結果との比較を行い、赤外線熱映像を用いることの有利性と問題点を検討している。これは貴重なデータである。

第5章では、赤外線熱映像による広域地熱構造のモデル化に言及し、地表面温度分布は地下水流動を反映しているという観点から、熱水循環系の基礎としての供給域と流出域を抽出して、鬼首、涌蓋山地域の広域地熱系概念モデルを作成し、地上で実施された種々の調査や、試錐等による結果と比較し、その妥当性を示している。この成果は地下の熱水利用上、高く評価できる。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、広域地熱資源調査の有用な探査法として、赤外線熱映像探査法を確立し、地熱資源の評価および構造解析を行い、地熱の高度利用化への途を開いたもので、資源工学ならびに探査工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。